

K-60

自動車車体用高張力鋼板の延性損傷変数の計測法

Method for Measuring Ductile Damage Variables of High Tensile Strength Steel Sheet for Vehicle Body

○野掛光¹, 山下龍¹, 木村謙太², 富岡昇³, 岡部顕史³

*Hikaru Nogake, Ryo Yamashita, Kenta Kimura, Noboru Tomioka, Akifumi Okabe

In this study, we investigated a method for determining damage variables from changes in hardness for ductile damage of 980 class high strength steel sheets. 1) By using a taper specimen, many plastic strain and hardness data could be obtained at one time. 2) The damage variable obtained from the change in Young's modulus increases linearly when the plastic strain reaches 100μ, and the value of the damage variable at break is 0.35. 3) The value of the damage variable obtained from the change in hardness was significantly different from the value obtained from the change in Young's modulus. The cause is for further study.

1. 緒言

自動車車体は薄板スポット溶接構造体で、車体の疲労耐久性を確保するためには、スポット溶接の疲労寿命特性やその評価法が重要となる。連続体損傷力学¹⁾では、材料の損傷状態を損傷変数で表し、損傷の生成・成長過程を損傷変数の発展式として定式化し、亀裂の発生・成長・破断に至るまで統一的に評価できる。損傷力学を用いることで、スポット溶接継手の疲労亀裂の発生から成長、破断に至るまでの寿命を一貫して予測することが可能と考えられる。

松園²⁾は自動車車体に使用されている冷間圧延鋼板と 590,980 級高張力鋼板の高サイクル疲労寿命予測を行うために、ヤング率の変化を計測し臨界損傷変数 D_c を算出しているが、この方法では精度良い値を得るのは困難であると指摘している。

本研究では、ヤング率の変化から損傷変数を比較的精度良く得られる延性損傷を対象とし、980 級高張力鋼板の静的引張負荷除荷試験を行い、硬さの変化を計測し損傷変数を計測方法について検討した。

2. 損傷変数の算出³⁾

微小硬さ H と塑性閾値 σ_s との間に線形関係が存在する。 k' を比例係数とすると次式のようになる。

$$H = k' \sigma_s \tag{1}$$

この閾値は実際の降伏応力に対応させると次式のようになる。

$$\sigma_s = (\sigma_y + R + X)(1 - D) \tag{2}$$

ここで、 σ_y は初期降伏応力、 R は等方硬化係数、 X は移動硬化係数、 D は損傷変数である。硬さ試験はそれ自身によって材料にひずみ硬化を生じる。その塑性ひずみを ϵ_p^H とすると、微小硬さ H はこのひずみと負荷により材料に生じる塑性ひずみ ϵ_p との和 $(\epsilon_p + \epsilon_p^H)$ に関係する。 $H^* = k'(\sigma_y + R + X)$ を損傷が無い材料の塑性ひずみ $(\epsilon_p + \epsilon_p^H)$ に対する微小硬さ、 $H = k'(\sigma_y + R + X)(1 - D)$ を実際の材料の塑性ひずみ $(\epsilon_p + \epsilon_p^H)$ に対する微小硬さとすると、損傷変数 D は(3)式のようになる。

$$D = 1 - \frac{H}{H^*} \tag{3}$$

また、損傷にともなう微小空隙の発達に剛性低下を引き起こすから、弾性係数の変化によっても損傷状態をモデル化できる。損傷を受ける前のヤング率を E_0 、損傷を受けたときのヤング率を E とすると、損傷変数 D は、次のように表す。

$$D = 1 - \frac{E}{E_0} \tag{4}$$

3. 実験方法

3.1 試験片

作成した試験片を図1に示す。材質は980MPa級高張力鋼板SPFC980(板厚1mm)を使用した。長さ10mmの平行部の板幅は10mmとし、1:10のテーパを付けた。これは、各塑性ひずみでの硬さを一度に測ることができるようにするためである。ひずみゲージは板幅10mm, 11mm, 12mm, 14mmの位置に貼り付け、板幅10mmの位置には大ひずみゲージを使用した。表1に平行部右端からのゲージ貼付位置とその部分の板幅を示す。

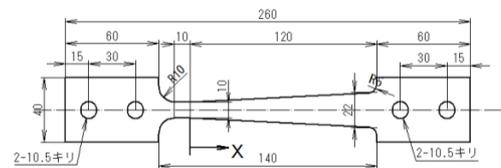


Fig.1 Test specimen used

Table.1 Strain gauge position and plate width

Position x[mm]	0	10	20	40
Width b[mm]	10	11	12	14

3.2 静的引張負荷除荷試験

硬さの変化から得られる損傷変数 D の値を確認するために、あらかじめヤング率の変化から損傷変数を求めることにした。図1の試験片を用いて静的負荷除荷の繰り返し試験を破断するまで行ない、ひずみを計測した。ひずみゲージより測定した縦ひずみ

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・院(前)・機械 3 : 日大理工・教員・機械

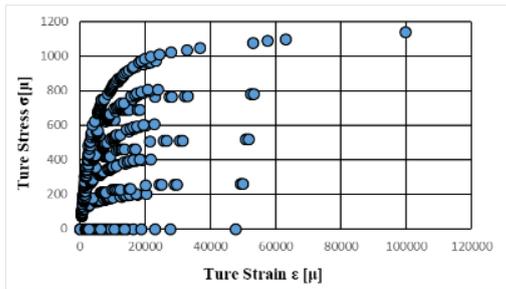


Fig.2 Relationship of true stress and true strain

と横ひずみの関係よりポアソン比を 0.378 とし、真応力を算出し、図 2 に真応力と真ひずみの関係を示す。

3.3 硬さ測定

図 1 の試験片を用いて、静的負荷による延性損傷に伴う硬さの変化を以下のようにして測定した。

- 1) 図 1 の試験片が破断するまで負荷をかける。
- 2) 試験片の中心を長手方向に切断し、その断面の表面を粒度 #800, #1000, #2000 のサンドペーパーを用いて、表面を滑らかにした。
- 3) 切断面の硬さを 1mm ごとにビッカース硬さ試験で測定する。

硬さ試験結果より図 3 に平行部からの距離と塑性ひずみ、硬さの関係を示す。塑性ひずみは板幅 10mm の部分に近づくと急激に大きくなり、その部分で硬さの値は高くなる。

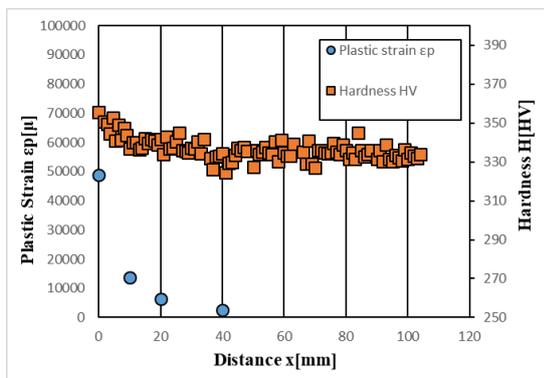


Fig.3 Plastic strain and hardness distributions

4. 損傷変数の算出

4.1 ヤング率の変化による損傷変数の算出

図 2 に示す応力-ひずみ線図から、徐荷時の応力ひずみの関係からヤング率を求め、(4)式より算出した損傷変数 D を図 5 に示す。 D 値は塑性ひずみが 100 μ に達すると線形的に上昇し、破断時の D 値は 0.35 である。

4.2 硬さの変化による損傷変数の算出

延性損傷に伴う硬さの変化から損傷変数を以下のようにして求めた。

- 1) 図 4 の応力ひずみ曲線の近似式を用いて $\epsilon^p + \epsilon_p^H$ に対する真応力を算出する。
- 2) 一般的に k' は約 3.0, ϵ_p^H は 40000~80000 程度であると言われている。今回は $k' = 3.03$, $\epsilon_p^H = 40000[\mu]$ とする。

3) $H^* = k'(\sigma_y + R + X)$ に(2)で求めた k' と真応力を代入し、無損傷時の硬さ H^* を算出する。

4) 硬さの実験値 H , 無損傷時の硬さ H^* を(3)式に代入し、損傷変数 D を算出する。

以上のようにして得られた結果を図 4, 損傷変数 D は図 5 に示す。硬さの変化から得られた損傷変数はヤング率の変化から得られた損傷変数と大きく乖離してしまっ。その原因について検討していくことが今後の課題である。

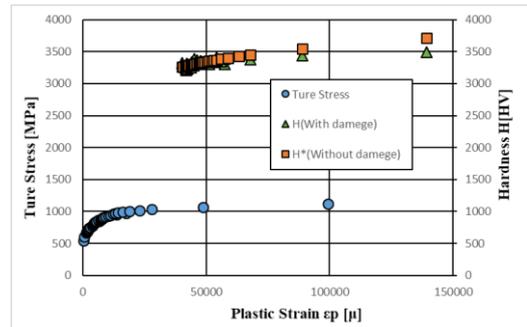


Fig.4 Relationship of plastic strain and true stress and microhardness

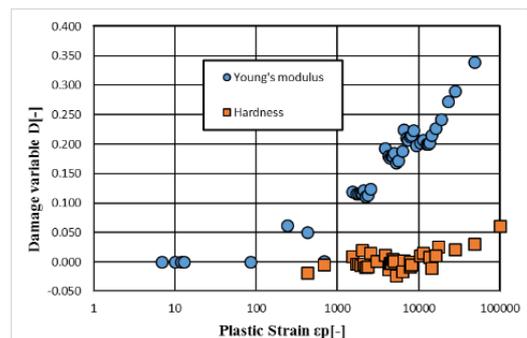


Fig.5 Relationship of plastic strain and damage variable

6. 結言

本研究では、980 級高張力鋼板の延性損傷を対象とし、硬さの変化から損傷変数を求める方法について検討した。

- 1) テーパ試験片を用いることによって、一度に多くの塑性ひずみと硬さのデータを得ることができた。
- 2) ヤング率の変化から求めた損傷変数は塑性ひずみが 100 μ に達すると線形的に増加し、破断時の損傷変数の値は 0.35 である。
- 3) 硬さの変化から求めた損傷変数の値はヤング率の変化から求めた値と大きく乖離した。原因については今後の課題である。

参考文献

- 1) 村上澄男, 連続体損傷力学, 第 8 章, 森北出版株式会社, 2008 年
- 2) 松園俊介, 連続体損傷力学を用いた自動車用薄鋼板の高サイクル疲労損傷評価, 日本大学大学院理工学研究科機械工学専攻, 修士論文要旨集 (2017)
- 3) J.Lemaitre, A Course on Damage Mechanics, Springer